

Factibilidad de la integración energética entre los procesos de fabricación de azúcar y alcohol

Yarodis Corso Calviño, Meilyn González Cortés, Víctor González Morales, Erenio González Suárez

Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química-Farmacía, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

mgonzalez@uclv.edu.cu

Resumen

En el trabajo se valoró la factibilidad económica de instalar una tubería de vapor entre una Empresa Azucarera y una destilería de alcohol cercana a la misma. Se realizó una identificación de los procesos de fabricación de azúcar y de producción de alcohol, haciéndose mayor énfasis en la parte energética. Se hicieron balances de masa y energía, con datos tomados de la producción, los cuales fueron procesados estadísticamente para determinar si el bagazo excedente alcanza para generar el vapor demandado por la fábrica de azúcar y la destilería. Además, se cuantificó el vapor consumido en los equipos tecnológicos del central para comparar estos consumos con lo normado con el objeto de evaluar la eficiencia energética del proceso azucarero. Se estimaron las pérdidas de calor en la tubería del vapor y se hizo un estudio económico que pone de manifiesto los ahorros monetarios y demás ventajas que traería el proyecto.

Palabras clave: Eficiencia energética, integración de procesos, producción de azúcar, producción de alcohol.

Abstract

In the paper is made a valuation of the economic feasibility of installing a pipe of vapor between a Sugar Company and a near alcohol distillery to the same one. At first place was carried out an identification of the processes of sugar production and alcohol production, becoming bigger emphasis in the energy part, for this it was carried out balances of mass and energy, taking into account data from the process production, which were processed statistically, to determine if the bagasse surplus reaches to generate the demanded vapor for the factory of sugar and the distillery. Also, the vapor was quantified consumed in the technological equipments of the power station to compare these consumptions, with what is reported in the literature in order to evaluating the energy efficiency of the sugar process. The losses of heat are considered in the pipe of the vapor and an economic study was made that show the savings and other advantages that it would bring the project.

Key words: Energetic efficiency, process integration, sugar production, alcohol production.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria de procesos enfrenta grandes limitaciones, como son: el aumento del precio del petróleo, los mercados cada vez más exigentes en cuanto a la calidad de los productos y la necesidad de disminuir de la contaminación ambiental.

Es por lo anterior, que la industria de procesos químicos está abocada a brindar soluciones que intenten paliar esta situación y que conlleven al mejoramiento de la eficiencia energética en sus procesos. La integración de procesos se ha convertido en una herramienta muy útil para disminuir los consumos de energía en los procesos químicos, para ello se usan avanzadas herramientas analíticas para identificar las posibilidades de reducir el consumo energético lo cual tributa a significativos ahorros en costos y utilidades.

En el caso de estudio que se aborda en el trabajo se evaluó la factibilidad de integración energética entre una fábrica de azúcar y una destilería que se encuentran situadas relativamente cerca una de la otra.

Se tuvo en cuenta la disponibilidad de vapor del central a la destilería sin afectar los requerimientos del ingenio, la demanda de vapor en la destilería, y las variantes de integración de los dos procesos, teniendo en consideración qué hacer si una de las fábricas saliera de funcionamiento, es decir ellas deben mantener su autonomía aunque estén integradas en cuanto a consumo de vapor, así como las pérdidas de calor en la tubería dada la distancia desde una fábrica a la otra, y qué hacer en período de no zafra en cuanto al suministro de vapor.

Por lo anterior el objetivo principal del trabajo fue determinar la factibilidad del suministro de vapor desde la fábrica de azúcar a la destilería de alcohol sin que se afecte ningún proceso tecnológico.

DESARROLLO

El propósito de la Integración Energética de Procesos es hacer eficiente el uso de la energía. El incremento de los precios de la energía, así como la incertidumbre de su suministro, ha hecho que los estudios integrales de energía sean una importante estrategia para las industrias en Centroamérica.^{1,2,8}

En las fábricas de azúcar el consumo de vapor ocurre en los equipos siguientes:

Calentadores: Estos aparatos pueden ser de coraza y tubos, de varios pases por el vapor y el jugo o de contacto directo. Pueden ser horizontales o verticales. Los diseños más recientes son de placas y laberínticos; donde se obtienen altos coeficientes de transferencia de calor.^{3,4,5}

Como existen varias etapas de calentamiento, habrá que realizar los cálculos para cada etapa; por ejemplo: en la extracción del múltiple-efecto, con vapor de un pre, con vapor de un doble o del cabezal general de escape.

Múltiple-efecto: Esta área centraliza el consumo de vapor del proceso; por tanto incide de manera decisiva en el balance general de la industria.

Tachos: Emplea el vapor para la concentración y cristalización de la meladura al valor deseado.

3. Identificación de los procesos

3.1 Proceso de fabricación de azúcar

En la etapa de molienda se obtiene el bagazo, que es transportado mediante los conductores de bagazo a la estación de generación de vapor, la misma cuenta con dos calderas de 60 t/h del tipo acuotubulares, en la cual el bagazo se alimenta a la caldera de forma uniforme por los distribuidores de bagazo. El agua necesaria en las calderas debe tener una temperatura alrededor de los 100-106 °C y en el caso de estudio procede de un pozo que se encuentra cerca del ingenio y se mezcla con condensados procedentes de los pre y del múltiple efecto, los que llegan con una temperatura alrededor de los 115-120°C.

El vapor de las calderas es aprovechado para producir energía eléctrica a través de los turbogeneradores. Estos turbogeneradores producen además el vapor de escape (20lb) que es utilizado en el proceso por los dos pre-evaporadores de área total de transferencia de 25 000 pie² y que son los encargados, a su vez, de generar todo el vapor necesario en las áreas de evaporación, concentración y cristalización que le preceden.

El jugo es calentado a 102-106 °C en los calentadores para lograr una mejor mezcla en el tanque *flash*, y facilitar la formación del lodo en el

clarificador. Después de la etapa de filtración el jugo se dirige a los pre- evaporadores donde ocurre una evaporación primaria a simple efecto, y continúa a los evaporadores a múltiple efecto donde ocurre una evaporación secundaria utilizando un cuádruple efecto.

En este proceso se elimina la mayor cantidad de agua posible. El esquema de evaporación se muestra en la figura 1 y en la figura 2 se muestra el esquema de la estación de evaporación.

proveniente de los evaporadores se envía a los tachos, donde se sigue concentrando hasta el punto en que aparecen los cristales de azúcar.

3.2 Proceso de destilación de alcohol

La generación de vapor se efectúa en una caldera del tipo humotubulares, o de tubos de fuego, con presión de trabajo de 12 kgf/cm², con una capacidad nominal de 20 t/h de vapor, la misma consume 26 t/d de fuel oil.

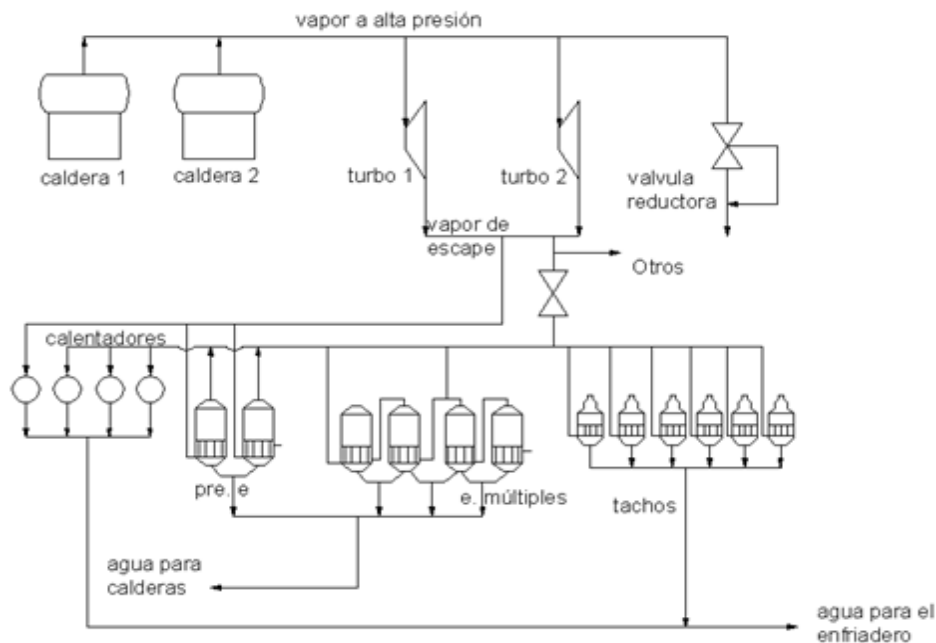


Figura 1. Esquema energético del caso de estudio

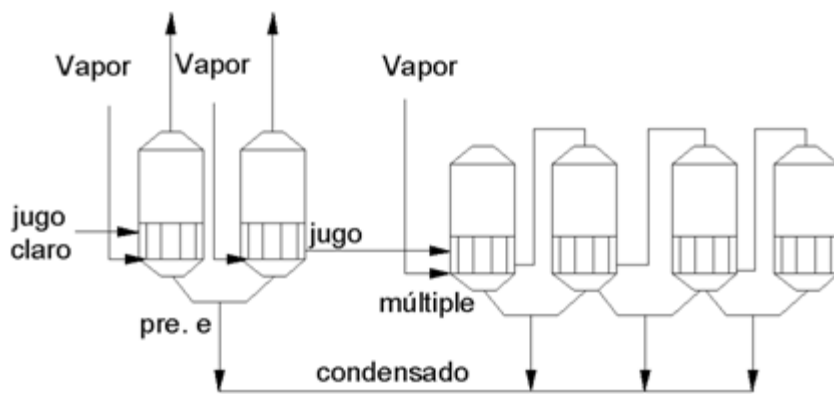


Figura 2. Esquema de estación de evaporación

Del vapor total producido en la caldera se consume el 75,39 % en la etapa de destilación, siendo la etapa más consumidora dentro del proceso, dentro de ella la columna rectificadora es la mayor consumidora, pues es en ésta donde se logra el grado alcohólico deseado, esta columna

consume el 63,6 % del vapor utilizado en la etapa y el 47,95% del vapor producido por la caldera (tabla 1)

La cristalización y concentración se realiza en tachos y como medio de concentración se utiliza el vapor vegetal generado en el múltiple efecto. La meladura

Tabla 1. Consumo de vapor en la etapa de destilación del caso de estudio

Vapor producido 20000 kg/h			
Columna	Consumo kg/h	% Etapa	% Vapor Consumido
Preconcentradora	1 000	6,63	5
Hidroselectora	3 487,25	23,13	17,44
Rectificadora	9 589,29	63,60	47,95
Pérdidas	1 000	6,63	5
Total	15076,54	100	75,38
% vapor disponible para otros usos:		24,62	
Vapor disponible para otros usos:		4 923 kg/h	

Se plantearon los balances de masa y energía en los equipos consumidores de vapor. Los consumos de vapor por equipo se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del balance energético en la fábrica de azúcar

	Masa de vapor	kg vapor consumido/t caña molida
Calentadores (vapor de escape), t/h	1,95	13
Calentadores (vapor vegetal), t/h	1,20	8
Pre evaporador 1 (consumo de vapor), t/h	22,78	152
Pre evaporador 2 (consumo de vapor), t/h	18,64	124
Pre evaporador 1 (extracción de vapor), t/h	9,19	-
Pre evaporador 2 (extracción de vapor), t/h	11,89	-
Múltiple, (vapor vegetal), t/h	17,25	115
Tachos, (vapor vegetal), t/h	25,28	169
Consumo total vapor de escape, t/h	43,37	-
Consumo total vapor vegetal, t/h	43,73	-

Balance en las calderas

Vapor generado = $IG \cdot (\text{Bagazo consumido})$

Vapor generado total = 102,7 T/h

Bagazo consumido = G_{prod}/IG

Bagazo consumido = 21,11 T/h

Bagazo excedente = Bagazo producido – Bagazo consumido en las calderas

Bagazo excedente = 20,4 T/h

Vapor que se puede producir con el bagazo excedente = Bagazo excedente * IG

IG = 2,43

Vapor que se puede producir con el bagazo excedente = 49,72 T/h

4. Análisis de los resultados de los balances de masa y energía

El bagazo excedente (20,4 t/h) alcanza para producir 49,7 t/h de vapor adicionales, aunque en realidad sólo hace falta producir 20 t/h de vapor que es lo que demanda la destilería, por lo que evidentemente el bagazo alcanza para suministrar vapor a la destilería, y almacenarlo para cuando acabe la zafra se pueda continuar suministrando vapor a la destilería, o cuando ocurra algún fallo en la producción del central exista una disponibilidad del mismo.

Otro aspecto importante analizado es que existe una diferencia de más de 20 t/h entre el vapor producido por las calderas y el consumido en los equipos, lo que se traduce en pérdidas de vapor, las que pueden

ocurrir por la válvula reductora, por mal aislamiento de las tuberías de vapor, por salideros o mal aislamiento en los equipos consumidores, entre otras causas. Si se logran reducir estas pérdidas se disminuiría el consumo de bagazo para satisfacer los requerimientos de la fábrica de azúcar y por tanto se tendría un mayor sobrante de bagazo.

Otra de las deficiencias detectadas en el balance energético es el sobreconsumo de vapor de 68 %, en los pre-evaporadores en relación con lo normado para este tipo de fábrica. En la tabla se reflejan estos resultados. Esto también es muestra de la baja eficiencia energética del esquema de evaporación. (tabla 3)

Tabla 3. Comparación de los consumos de vapor de los equipos con lo reportado en la literatura.^{6,7}

	Literatura	Caso de Estudio
Caña molida, t/h	150-70	150
Calentadores, kg vapor/tcaña	50-10	21
Pre evaporadores, kg vapor/tcaña	190-90	276
Evaporadores, kg vapor/tcaña	260-120	115
Tachos, kg vapor/tcaña	210-130	169

5. Estimación de las pérdidas de calor, análisis económico y de alternativas tecnológicas

En este epígrafe se realiza una estimación de las pérdidas de calor en la tubería que suministraría el vapor desde el central a la fábrica de azúcar.

Tubería sin aislar

Datos:

Longitud de la tubería (H) = 1000 m

Diámetro de la tubería (D) = 300 mm = 0,3 m

T aire = 30 °C

Ts = 325 °C

$$Q_p = \dot{a} * F1 * (T_{\text{pared}} - T_{\text{aire}})$$

$$\dot{a} = 9,74 + 0,07 * (T_{\text{pared}} - T_{\text{aire}})$$

$$F1 = \delta * D * H + 2 * 0,785 * D^2$$

Donde:

\dot{a} – Coeficiente combinado de radiación y convección

F1 – Área superficial de la tubería

Ts – Temperatura del vapor

Qp – Calor perdido en la tubería

Como la tubería no está aislada la temperatura del vapor (Ts) H'' T pared

$$F1 = 942 \text{ m}^2$$

$$\dot{a} = 9,74 + 0,07 * (325 - 30)$$

$$\dot{a} = 30,4 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

$$Q_p = 8447,856 \text{ Kw}$$

Pérdidas de calor en la tubería aislada:

Datos

Tipo de aislante: 85 % de magnesia y 15 % de amianto

Espesor del aislante (\ddot{a}) = 0,06 m

Coeficiente de conductividad térmica

(\ddot{e}) = 0,098

W/(m² * K)

T int = Ts = 325 °C

T amb = 30 °C

$$Q_p = ((\ddot{e} / \ddot{a}) * (T_{\text{int}} - T_{\text{amb}})) * H$$

$$Q_p = ((0,098 / 0,06) * (325 - 30)^\circ\text{C}) * 1000$$

$$Q_p = 481833 \text{ W} = 481 \text{ Kw}$$

Análisis económico

Costo del consumo de combustible

Datos:

Consumo de fuel oil de la caldera en la destilería = 26 t/d

Precio del combustible 0,22 \$/L = 213,4\$/ m³

ñ del fuel oil = 845 kg/m³

ñ = m/V

V = m/ ñ

V = 26000/845 kg/m³

V = 30,8 m³/d

Costo = 30,8 m³/d * 213,4\$/m³

Costo = 6572,7 \$/d

El suministro de vapor a la destilería proporcionaría un ahorro de 6572,7 \$/d, en el periodo de zafra el ahorro de combustible sería de 2 618 m³, ahorrándose \$ 558 679,5.

Con el vapor suministrado se puede generar electricidad.

Generación eléctrica = 2745 Kw.

Precio del Kw = \$ 0,3027

La generación de 2745 Kw representaría un ahorro de \$ 830.

Con el objetivo de que no se afecten los dos procesos cuando exista algún fallo en uno u otro es necesario que se prevean determinadas soluciones tecnológicas, las mismas aunque también requieren de una inversión deben ser valoradas con igual importancia en todos los análisis de factibilidad que se realicen para hacer viable este tipo de proyecto. Entre las soluciones tecnológicas que deben tenerse en cuenta se considera que deben estar las siguientes:

1. Mantener de reserva la caldera de vapor de la destilería, para el tiempo de no zafra, o cuando se presente algún problema en la generación de vapor del central.

2. Que se mantenga una reserva de bagazo en el central, para que continúe la generación de vapor aunque se detenga la molienda.

3. Informar inmediatamente a la destilería cuando se presente algún problema con la generación de vapor del central, para que se prepare el sistema de generación de vapor de la destilería.

4. Informar inmediatamente por parte de la destilería al central cuando se detenga la producción u ocurra algún problema que implique cesar el suministro de vapor, para que en el central disminuya la generación de vapor.

Conclusiones

1. En el proceso de fabricación de azúcar del caso de estudio analizado existe un sobreconsumo de vapor de escape en los preevaporadores lo que hace ineficiente el proceso con mayores consumos de bagazo y otros materiales lo cual, a su vez, resulta desde el punto de vista económico negativo para el proceso.

2. El proceso de fabricación de azúcar en estudio es capaz de suplir las demandas de vapor de la destilería, por tanto es factible la integración energética de ambos procesos.

3. Si se logra una mayor eficiencia energética en el proceso de fabricación de azúcar se pueden obtener mayores sobrantes de bagazo.

4. En el proceso de destilación la columna rectificadora consume el 48 % del vapor que demanda este proceso.

5. Las pérdidas de vapor que se estima existan en la tubería de suministro de vapor desde la fábrica de azúcar a la destilería son de 481 KW.

6. El suministro de vapor a la destilería proporcionaría un ahorro de 6572,7 \$/d, en el periodo de zafra, por el concepto de ahorro de combustible .

Bibliografía

1. Catá, Y.: Metodología para la consideración de la incertidumbre en la integración de procesos en la industria azucarera y sus derivados, Tesis para optar el grado científico de doctor en Ciencias técnicas, 2006.

2. González, E. y S. González Machado: "Análisis Complejo de Procesos para lograr un mejor uso de la energía térmica en una fábrica de azúcar." revista *Centro Azúcar*, 2: 31-34, 2005.

3. Donald Q. Kern: *Procesos de Transferencia de Calor*, Tomo I, Editorial Félix Varela, La Habana, 2005.

4. _____: *Procesos de Transferencia de Calor*. Tomo II, Editorial Félix Varela, La Habana, 2005. Tomo II.

5. _____: *Procesos de Transferencia de Calor*, Tomo III, Editorial Félix Varela, La Habana, 2005. Tomo III.
6. Espinosa, R. Y. C.: Utilización del calor en la industria azucarera, Editorial Feijóo, 1984.
7. Espinosa, R. Y. C.: *Análisis de la integración energética en los procesos tecnológicos de la industria azucarera*, Monografía, Editorial Feijóo, 2001.
8. Nápoles, M.: Análisis del impacto de la incertidumbre de los balances de masa y energía de las fábricas de azúcar en los estudios previos inversionistas, Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas, 2004.